

# Error-based Simulation における 学習者の誤り箇所に適応的な補助問題提示システムの中学校での授業実践

## A Classroom Practice at a Junior High School on an Auxiliary Problem Presentation System Adaptive to Learners' Errors in Error-based Simulation

相川 野々香<sup>\*1</sup>, 前田 新太郎<sup>\*1</sup>, 茂木 誠拓<sup>\*1</sup>, 古池 謙人<sup>\*1</sup>, 東本 崇仁<sup>\*2</sup>, 今井 功<sup>\*3</sup>, 堀口 知也<sup>\*4</sup>, 平嶋 宗<sup>\*5</sup>  
Nonoka AIKAWA<sup>\*1</sup>, Shintaro MAEDA<sup>\*1</sup>, Tomohiro MOGI<sup>\*1</sup>, Kento KOIKE<sup>\*1</sup>, Takahito TOMOTO<sup>\*2</sup>,  
Isao IMAI<sup>\*3</sup>, Tomoya HORIGUCHI<sup>\*4</sup>, Tsukasa HIRASHIMA<sup>\*5</sup>

<sup>\*1</sup> 東京工芸大学大学院工学研究科

<sup>\*1</sup> Graduate School of Engineering, Tokyo Polytechnic University

<sup>\*2</sup> 東京工芸大学工学部

<sup>\*2</sup> Faculty of Engineering, Tokyo Polytechnic University

<sup>\*3</sup> 千葉市立さつきが丘中学校

<sup>\*3</sup> Chiba Municipal Satsukigaoka Junior High School

<sup>\*4</sup> 神戸大学大学院海事科学研究科

<sup>\*4</sup> Graduate School of Maritime Sciences, Kobe University

<sup>\*5</sup> 広島大学大学院先進理工系科学研究科

<sup>\*5</sup> Graduate School of Advanced Science and Engineering, Hiroshima University

Email: n.aikawa@st.t-kougei.ac.jp

あらまし: 初等力学の学習において, 誤りの修正に有効なものとして Error-based Simulation (EBS)がある. EBS はこれまで多くの研究により学習効果が示されてきたが, 力の関係が複雑な問題の場合には学習者が学習に行き詰まってしまう場合がある. そこで本研究では, 行き詰まった学習者に誤り箇所に応じた補助問題を提示するシステムを開発した. そしてその効果を測るため, 中学校で授業実践を行った.

キーワード: Error-based Simulation, 初等力学, 補助問題, 授業実践

### 1. はじめに

初等力学において, 物体にはたらく力の関係を理解することは重要であるが, 初学者には困難である場合がある. そこで, 学習者の誤りの修正に有効なものとして Error-based Simulation (EBS)<sup>(1)</sup>がある. EBS は学習者の誤りを可視化する学習支援の枠組みで, 学習者に「もしも学習者の解答が正しいと仮定すればどのような結果が生起するか」を提示する. 学習者の誤答に基づくおかしな振る舞いを観察させることで, 学習者に試行錯誤を促す. EBS はこれまで学習効果が示されてきた<sup>(2)</sup>が, 力の関係が複雑な問題の場合には学習者が行き詰まることがある.

そこで, 行き詰まった学習者に補助問題を提供することが有効であることが示されている. 補助問題とは, 学習者がもとの問題を理解するための助けとなる問題である. 補助問題を提示されることで, 学習者は補助問題を解きながら, もとの問題の誤りに気づくことができる.

本研究では, 学習者の誤り箇所に基づいた補助問題提示を行う EBS システムを開発した<sup>(3)</sup>. そして, システムを用いて中学校における授業実践を行った.

### 2. 提案システム

本システムは, 従来 EBS を拡張することで作成した (図 1). 学習者はまず従来 EBS で試行錯誤を行い, 問題に行き詰まったら, システムが補助問題を



図 1 システム画面

提示する. このとき, システムは学習者のそれまでの解答履歴から学習者の誤り箇所を分析し, 学習者の誤り箇所に適応的な補助問題を提示する. 学習者はその補助問題を解き, 正解したら段階的に難しい補助問題を解いてもとの問題に戻る. 再び誤ったら, システムが再度誤り箇所を分析して補助問題を提示する. これによって, 学習者は行き詰まりを解消して試行錯誤を続けることができる.

#### 2.1 補助問題

本研究では, あるベクトルに注目して力の因果に基づき, もとの問題を単純化することで補助問題を作成した. 例えば, 図 2 は力 S に注目して単純化した補助問題の例であり, 力 S の発生原因である上の物体を外力にすることで単純化している.

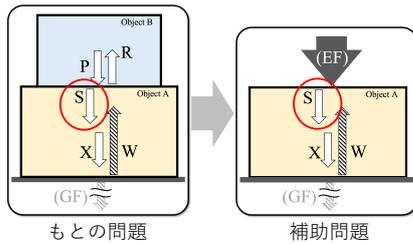


図2 補助問題の例

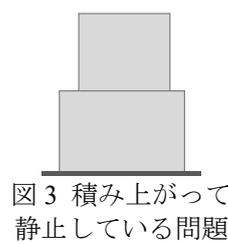


図3 積み上がって静止している問題

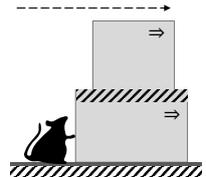


図4 積み上がり下の物体が押されて加速した問題

2.2 誤り箇所分析

本システムは、学習者の誤答と正答を照らし合わせて欠落したベクトルを抽出する。そして複数回の解答において抽出されたベクトルをカウントし、一番欠落回数の多かったベクトルを学習者の誤り箇所とする。そして2.1節で作成した補助問題の中で、対応するベクトルについての補助問題を提示する。

3. 授業実践

3.1 概要

公立中学校の3年生3クラス(合計81名)を対象に、授業実践を行った。3時限分(135分)の授業の中で、システム利用とその前後で事前/事後テストを行い、最後にアンケートを実施した。

3.2 テスト結果

事前/事後テストの結果(表1)を見ると、事前から事後にかけて平均点が上昇しており、システム利用を通してほとんどの生徒の点数が上昇していた。そこでCohen's *d*を用いて効果量を算出したところ、2.79と高い数値であった。このことから、本システムによる学習は効果的であることが示唆された。

また、テストの問題ごとに詳細を見ていく(表2)。問題1は、本実践で扱った一番簡単な問題であり、床の上に一つの物体が静止している状況に対する作図問題である。この問題では、事前テストでの正解者が32名であるのに対して、事後テストでは81名全員が正解していた。問題4は、2つの物体が積み上がって静止している問題である(図3)。この問題では、事前テストで2名、事後テストで69名が正解していた。問題5はシステムでもとの問題として扱った問題である。これは2つの物体が積み上がっており、下の物体が外力に押されて、物体が2つとも押されている方向に加速している問題である(図4)。

表1 事前/事後テストの結果

事前テスト		事後テスト	
平均	標準偏差	平均	標準偏差
0.64	0.93	3.41	1.00

表2 問題ごとの学習者の正解者数 (N=81)

	問題1	問題2	問題3	問題4	問題5	問題6	問題7
事前	32	4	14	2	0	0	0
事後	81	20	70	69	32	3	1

この問題は事前テストでの正解者が1名もいなかったが、事後テストでは32名が正解した。また授業中にシステムを用いてこの問題に正解した生徒は61名いた。よって、最初は解けない問題が本システムを用いることで解けるようになることが示唆された。

3.3 アンケート結果

アンケート結果の一部を表3に示す。アンケートは6件法で行い、6の方が肯定的である。表3の(1)は本研究の試みに関する質問であり、高評価を得られたことから生徒は本システムの活動が理解につながると感じていることが示唆された。また(2)(3)から、生徒はシステムが提示した補助問題が学習の役に立ったと感じていることが示唆された。

表3 アンケート結果 (一部抜粋)

	項目	平均
(1)	理解していない箇所に対応した問題を学ぶことは、理解に繋がると感じますか?	5.78
(2)	サポート問題は、もとの問題を解くことに役立ったと感じますか?	5.52
(3)	アプリが提示したサポート問題は、分からない箇所の理解に繋がると感じますか?	5.46

4. おわりに

本研究ではEBSにおける学習者の誤り箇所に適応的に補助問題提示を行うシステムについて、中学校で授業実践を行った。その結果、学習に効果的であることが示唆された。今後はシステムログを分析し、生徒の学習活動を評価する。

参考文献

- 平嶋宗, 堀口知也: “「誤りからの学習」を指向した誤り可視化の試み”, 教育システム情報学会誌, Vol.21, No.3, pp.178-186 (2004)
- 篠原智哉, 今井功, 東本崇仁, 堀口知也, 山田敦士, 山元翔, 林雄介, 平嶋宗: “運動する物体にはたらく力を対象とした error-based simulation の中学校理科における実践利用”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.99, No.4, pp.439-451 (2016)
- 相川野々香, 古池謙人, 東本崇仁: “Error-based Simulation (EBS)における学習者の誤り傾向に基づく問題の行詰まり解決支援システム”, 電子情報通信学会論文誌 D, Vol.103, No.9, pp.644-647 (2020)